



Projet : station météo

UE : Systèmes embarqués

Étudiants :

HERAULT Marc

DJENADOU Rayane

WAZNY Thomas

Enseignants référents :

BOEGLEN Hervé

RICHARD Noël

Master Objets connectés

2024/2025

Table des matières :

1. Introduction	3
2. Spécifications Externes de l'Application	3
2.1. Entrées	3
2.2. Sorties	3
2.3. Fonctions à Réaliser	3
3. Description Succincte des Principales Fonctionnalités	4
4. Bords du Modèle	4
5. Table des Entrées/Sorties	5
6. Table des Interruptions et Gestion des Priorités	5
7. Développement et Validation des Éléments d'Assemblage	6
7.1. Agrégation des Mesures	7
Développement :	7
Centralisation des Données :	7
Calculs Statistiques :	7
7.2. Température et Humidité	7
Validation :	7
7.3. Pression Atmosphérique	8
Développement :	8
Validation :	9
7.4. Vitesse du Vent	9
Développement :	9
Validation :	9
7.5. Niveau de Pluie	10
Développement :	10
Validation :	10
7.6. Direction du Vent	10
Développement :	10
Validation :	10
8. Gestion de l'IHM	11
Développement :	11
Validation :	11
9. Développement et Validation de l'Application (Intégration Finale)	11
Développement :	11
Validation :	12
10. Conclusion Générale	12
11. Composition et Responsabilités dans l'Équipe Projet	13
Composition et responsabilités dans l'équipe projet	13
Composition de l'équipe	13
Responsabilités de l'équipe	13
12. Annexes	16
Matériel : Shield ST X-NUCLEO-IKS01A3	16
Caractéristiques des capteurs	16

Récupération des données	16
Capteurs de vitesse et direction du vent	16
Fonctionnement en détail :	16
Vitesse du vent :	16
Direction du vent :	17
Capteur de pluie	17
Fonctionnement détaillé :	17
Principe du "Tipping Bucket" :	17
Signal :	17

Projet : Station Météo

1. Introduction

Le réchauffement climatique représente l'un des défis les plus pressants de notre époque, menaçant les écosystèmes et la survie des êtres vivants. L'impact de l'activité humaine sur ce phénomène est désormais incontestable, avec des températures globales en constante augmentation. Face à cette réalité, disposer de moyens pour suivre et comprendre les variations météorologiques locales devient crucial.

Dans le cadre de ce projet, nous avons conçu et réalisé une station météorologique basée sur un système embarqué, en utilisant la carte STM32F746G Discovery. Inspiré du modèle « Weather Shield » de Sparkfun, ce dispositif permet de mesurer et d'afficher diverses grandeurs météorologiques telles que la température, l'humidité, la pression atmosphérique, la vitesse et la direction du vent, ainsi que la pluviométrie.

Ce rapport détaille les étapes de conception, de développement, et de mise en œuvre de ce projet ambitieux.

2. Spécifications Externes de l'Application

2.1. Entrées

- **Capteurs :**
 - Température et humidité (HTS221).
 - Pression atmosphérique (LPS22HH).
 - Vitesse du vent (anémomètre).
 - Direction du vent (girouette).
 - Niveau de pluie ("Tipping Bucket").
- **Interface Utilisateur :**
 - Écran tactile pour la configuration et la visualisation des données.

2.2. Sorties

- Affichage des mesures sur l'écran tactile.
- Enregistrement des données sur une carte SD.
- Notifications d'alerte en cas de conditions météorologiques critiques (ex. : pluie abondante ou vent fort).

2.3. Fonctions à Réaliser

- Acquisition des données environnementales via les capteurs.
- Traitement des signaux des capteurs (conversion analogique/numérique, calculs).
- Affichage des données en temps réel sur un écran tactile.
- Sauvegarde périodique des données sur une carte SD.
- Gestion énergétique (modes sleep et deep sleep pour optimiser la consommation).

3. Description Succincte des Principales Fonctionnalités

1. Mesures météorologiques :

- Température (°C).
- Humidité relative (% HR).
- Pression atmosphérique (hPa).
- Vitesse et direction du vent.
- Niveau de précipitation (mm).

2. Visualisation des données :

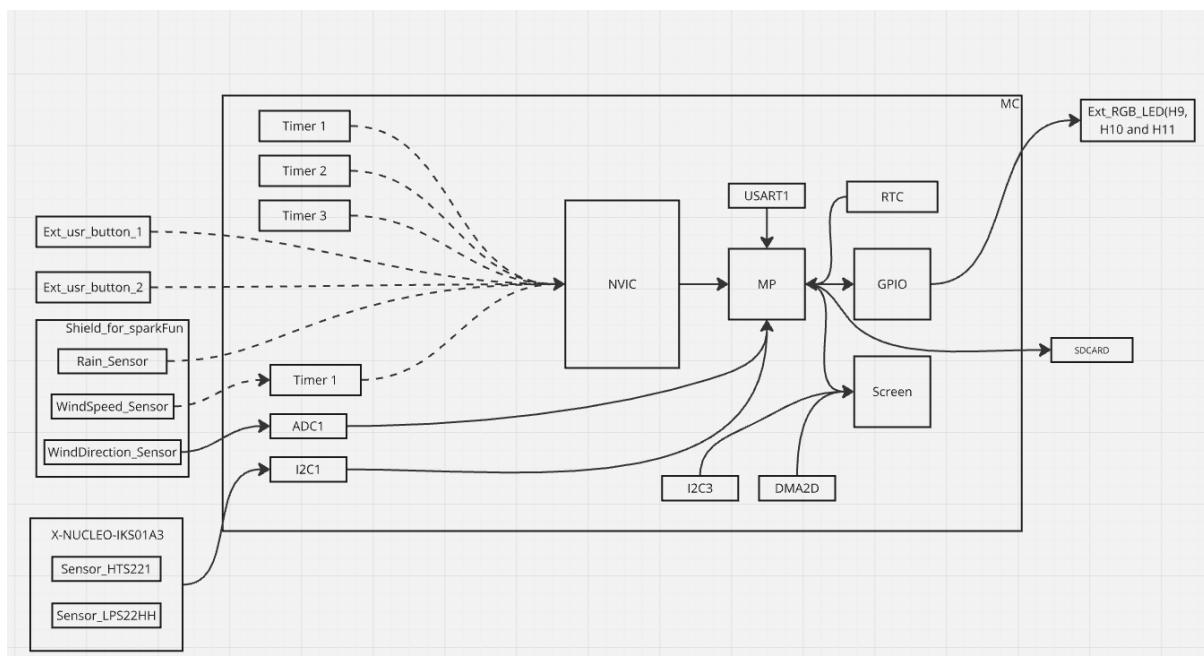
- Écran tactile interactif pour afficher les mesures en temps réel.
- Graphiques des tendances météorologiques.

3. Enregistrement et stockage :

- Sauvegarde automatique des données sur une carte SD pour une analyse ultérieure.

4. Bords du Modèle

- **Système central** : Basé sur le microcontrôleur STM32F746G-DISCO.
- **Interfaces matérielles** :
 - Bus I²C pour la communication avec les capteurs HTS221 et LPS22HH.
 - ADC (convertisseur analogique-numérique) pour les capteurs de direction du vent et de la pluie.
 - GPIO pour les interruptions externes (pluie, vitesse du vent).
- **Stockage** : Carte SD accessible via interface SPI.
- **Affichage** : Écran tactile intégré à la carte STM32F746G-DISCO.

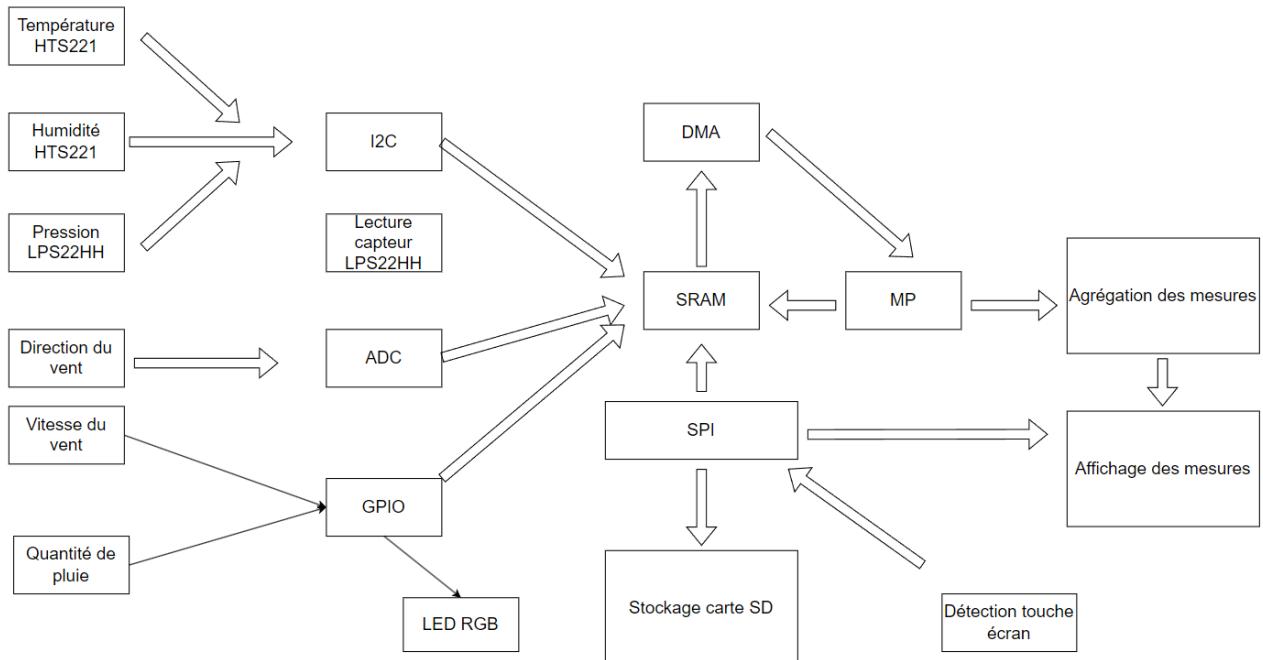


Bords du modèle

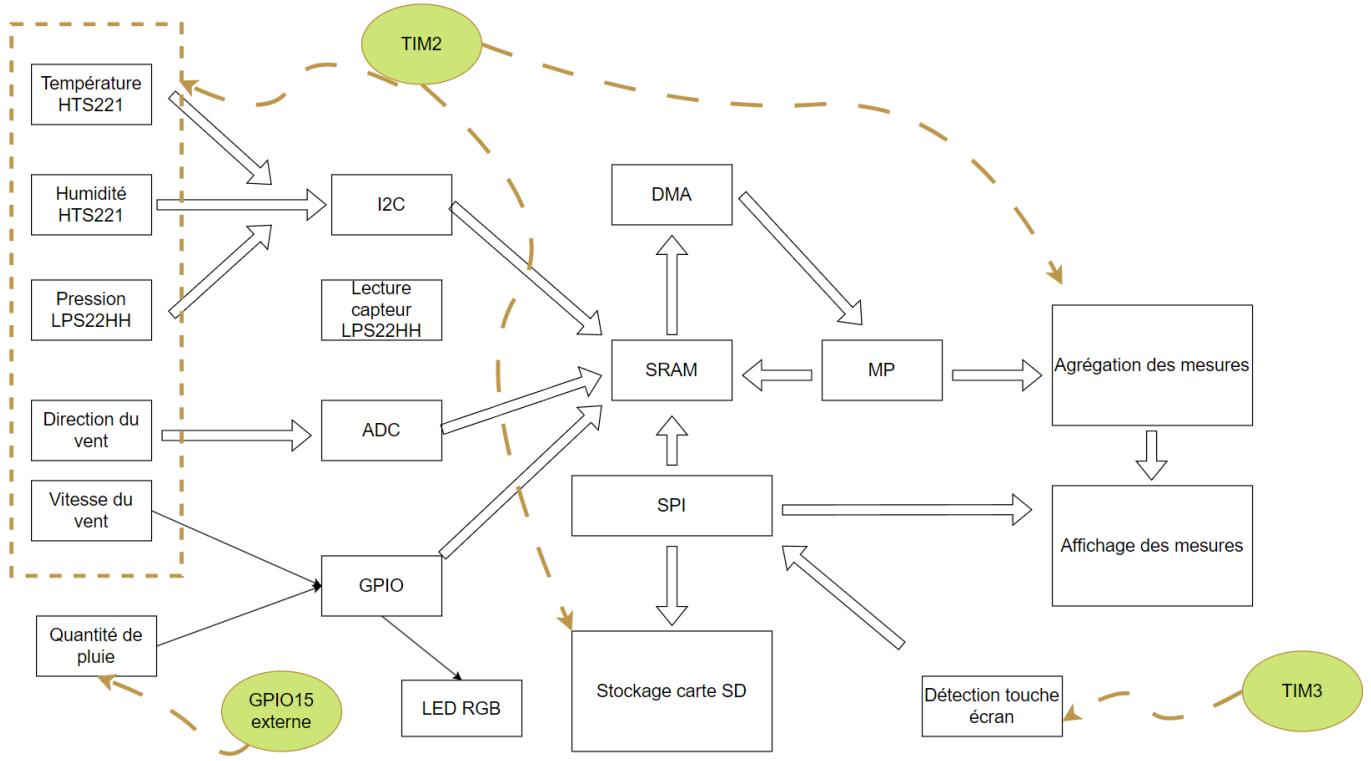
5.1. Table des Entrées/Sorties

Élément	Type	Point de Connexion	Spécification
Température & humidité	I ² C	HTS221 via STM32	Adresse I ² C dédiée
Pression atmosphérique	I ² C	LPS22HH via STM32	Adresse I ² C dédiée
Vitesse du vent	Impulsionnelle	GPIO externe	Impulsions par rotation de l'anémomètre
Direction du vent	Analogique	ADC sur STM32	Tension proportionnelle à l'angle
Niveau de pluie	Impulsionnelle	GPIO externe	Impulsions par basculement du <i>bucket</i>
Écran tactile	Interface	STM32 via interface intégrée	SPI/I ² C pour commandes
Carte SD	SPI	STM32 via SPI	Sauvegarde des données

5.1. Schéma de flux de données



5.2. Schéma de flux d'événements

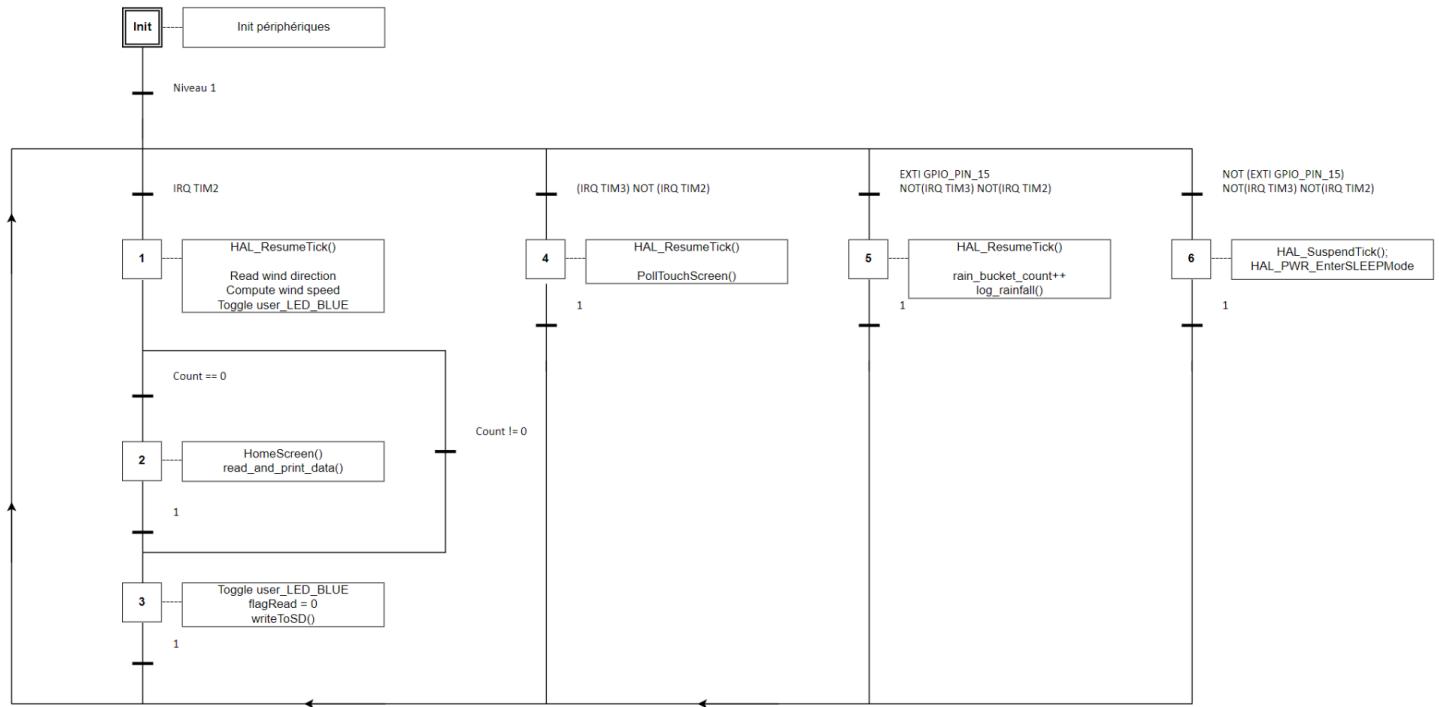


6.1. Table des Interruptions et Gestion des Priorités

Interruption	Source	Type	Priorité	Action
Écran tactile	Interface intégrée	Externe GPIO/Interrupt	Faible	Gérer les interactions utilisateur.
Prise de mesure pluie	GPIO externe (bucket)	Externe GPIO	Haute	Comptage des impulsions du pluviomètre.

Prise de mesures (capteurs I ² C)	Timer (périodique)	Périodique	Haute	Lecture des données des capteurs HTS221 (humidité/température) et LPS22HH (pression atmosphérique).
Vitesse du vent	GPIO externe (anémomètre)	Externe GPIO	Haute	Comptage des impulsions générées par l'anémomètre.
Direction du vent	ADC	Interne ADC	Haute	Conversion analogique-numérique pour déterminer l'angle du vent.
Sauvegarde sur carte SD	Timer (périodique)	Périodique	Faible	Écriture périodique des données météorologiques sur la carte SD.
Mode sleep et deep sleep	Gestion énergétique	Événement interne	Basse	Transition en mode basse consommation.

6.2. Machine d'état des interruptions



7. Développement et Validation des Éléments d'Assemblage

7.1. Agrégation des Mesures

Développement :

Les données des capteurs sont collectées en temps réel via des protocoles spécifiques (I²C, GPIO, ADC). Chaque capteur est interrogé selon un cycle temporel précis :

- **Température, humidité et pression atmosphérique** : Interrogation périodique réglable sur la station météo de 5 secondes à 1h, via le bus I²C. La carte STM32F746G passe en mode sommeil entre ces intervalles si aucune interruption n'est détectée pour minimiser la consommation énergétique.
- **Vitesse du vent** : Mesures événementielles basées sur des interruptions déclenchées par des impulsions GPIO.
- **Direction du vent** : La direction du vent est mesurée à l'aide d'une girouette équipée d'un potentiomètre, qui fournit une tension analogique proportionnelle à l'angle de la direction. Cette tension analogique est convertie en valeur numérique par l'ADC

(Analog-to-Digital Converter) intégré au microcontrôleur STM32. Le capteur est lu via un canal dédié de l'ADC, en utilisant une résolution de 12 bits pour une précision suffisante.

- **Niveau de pluie** : Le niveau de pluie est mesuré via un pluviomètre à bascule ("tipping bucket"). Chaque basculement du seau génère une impulsion via une interruption externe GPIO. Chaque impulsion correspond à une quantité fixe d'eau (0.2794 mm de précipitation), définie par la documentation du capteur.

Centralisation des Données :

- Les mesures sont stockées dans une structure de données en mémoire volatile (tableau et variable C) pour des accès rapides.
- Chaque donnée brute est prétraitée (filtrage des variations erratiques, conversion en unités physiques).

Calculs Statistiques :

- Moyennes temporelles (température, humidité, pression) sur la journée.
- Mesure des extrêmes (vitesse max du vent sur une journée, cumul de pluie).

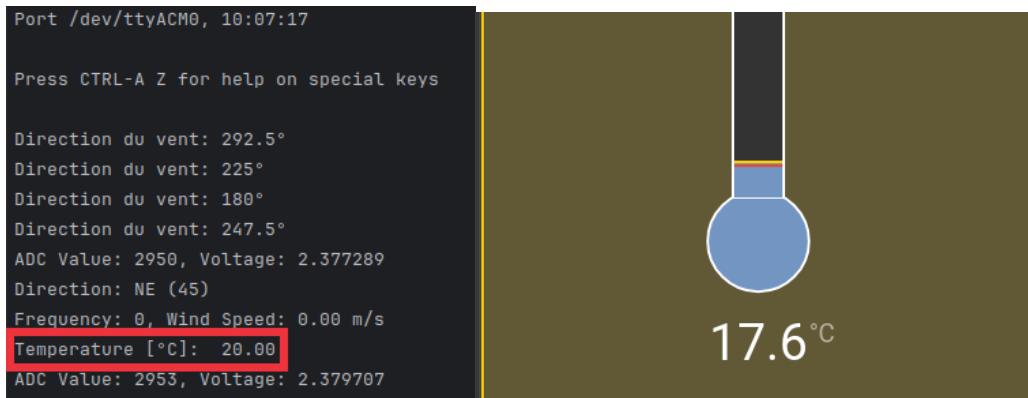
7.2. Température et Humidité

Validation :

- **Tests Unitaires :**

Des données de référence ont été prises par une sonde calibrée pour comparer les valeurs de température mesurées avec celles du système.

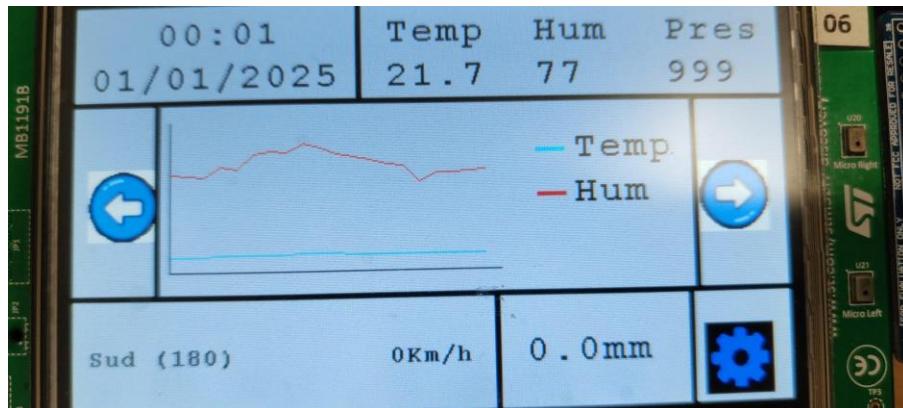
Résultat : Écart moyen constaté à 2.4°C pour la température, comme on peut le voir ci-dessous.



ScreenShots des valeurs des températures du HTS221 et une PT100 calibré

- **Tests d'Intégration :**

Les données ont été affichées en temps réel sur l'écran tactile et sauvegardées périodiquement sur la carte SD pour vérifier la cohérence à long terme. Simulation de changements rapides de température et d'humidité (par ex., en plaçant le capteur dans un environnement humide) pour évaluer la réactivité du système. Sur la photo ci-dessous, nous pouvons bien voir que l'humidité a augmenté en déplaçant la carte d'un salon à une salle de bain, puis de retour dans le salon.



7.3. Pression Atmosphérique

Développement :

- **Acquisition des Données :**

La pression atmosphérique est mesurée à l'aide du capteur LPS22HH, également connecté au microcontrôleur via le bus I²C.

Une conversion est effectuée à chaque temps configuré par l'utilisateur, avec une résolution configurée à 24 bits pour une précision optimale :

- **Plage de mesure** : 260 à 1260 hPa.
- **Précision typique** : ± 0.1 hPa.

- **Traitement des Données :**

Les données brutes du capteur sont transformées en unités physiques (hPa) à l'aide des fonctions données par le driver de ce capteur.

Validation :

- **Tests :**

Aucune comparaison des données n'a pu être effectuée, car nous n'avons pas eu accès à un baromètre de référence. Nous prenons donc la référence de la documentation dans ce cas.

Écart constaté : inférieur à 0.5 hPa dans des conditions normales.

- **Tests d'Intégration :**

Vérification de l'affichage en temps réel et de la sauvegarde des données de pression sur la carte SD.

7.4. Vitesse du Vent

Développement :

- **Traitement des Données :**

Le code calcule la vitesse moyenne du vent sur l'intervalle défini.

Formule utilisée :

Vitesse moyenne (m/s) = N × Facteur de calibration / Δt Où :

- N est le nombre d'impulsions capturées.

- **Facteur de calibration** est une constante spécifique au modèle d'anémomètre.
 - Δt est la durée de la plage de mesure (en secondes).
- Cette vitesse est mise à jour dans une structure mémoire après chaque calcul.
- **Gestion des Erreurs :**
 - Si aucune impulsion n'est détectée pendant l'intervalle, la vitesse est enregistrée comme 0 m/s (vent nul).
 - Les valeurs aberrantes dues à des perturbations électriques sont filtrées via des seuils prédéfinis.

Validation :

- **Test Fonctionnel :**

Pendant une plage de mesure de 5 secondes, nous avons enclenché le capteur 5 fois, ce qui donne une moyenne de 1 tour par seconde. D'après la documentation, cela correspond à une vitesse de 2.4 km/h. En faisant un log dans une console série, nous obtenons bien cette vitesse.



```
Frequency: 5, Wind Speed: 2.40000 km/h
```

- **Test d'intégration :**

Nous pouvons bien voir sur la capture d'écran ci-dessous, que la vitesse du vent s'affiche sur l'écran LCD de la station météo.

7.5. Niveau de Pluie

Développement :

- **Gestion des Données :**
 - Une variable incrémentée dans la routine d'interruption stocke le cumul des impulsions depuis la dernière remise à zéro.
 - Le total est affiché en temps réel sur l'écran tactile et sauvegardé périodiquement sur la carte SD.
- **Remise à Zéro Quotidienne :**
 - Le compteur est réinitialisé automatiquement à minuit chaque jour, synchronisé avec la RTC (Real-Time Clock) du microcontrôleur.
 - Avant la remise à zéro, la valeur cumulée est sauvegardée sur la carte SD avec un horodatage (date et heure).

Validation :

- **Tests :**

Avec un nombre connu de basclements(ici 3), le total calculé par le système a été comparé à la valeur réelle.

```
Time: 00:00:03, Rainfall: 0.28 mm  
Time: 00:00:07, Rainfall: 0.84 mm  
Time: 00:00:12, Rainfall: 1.12 mm
```

- **Tests d'Intégration :**

Validation de la remise à zéro automatique à minuit et affichage sur l'écran.

7.6. Direction du Vent

Développement :

- **Traitements des Données :**

La tension mesurée est convertie en un angle correspondant à la direction du vent en degrés (0° à 360°) à l'aide d'une table de correspondance fournie par le constructeur du capteur.

Validation :

- **Tests :**

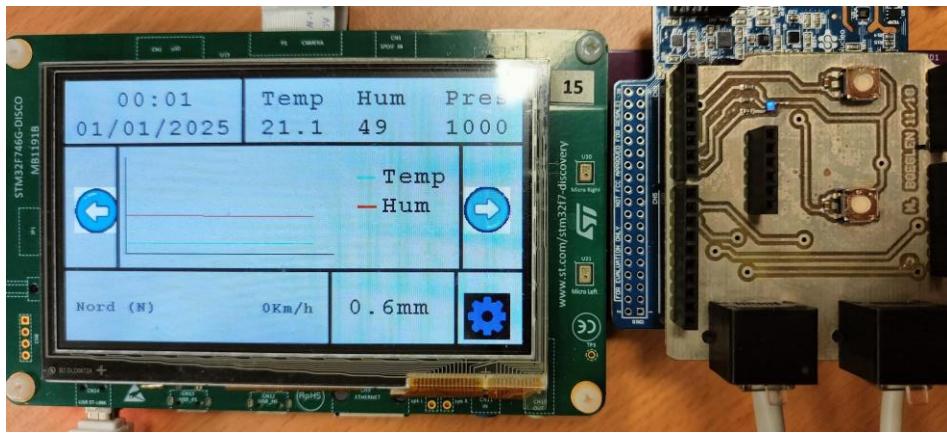
Le capteur a été soumis à des tests dans des positions fixes (par exemple, 0°, 90°, 180°, 270°) pour valider la correspondance entre la tension mesurée et l'angle calculé.

```
Direction: Nord (N)  
ADC Value: 2938, Voltage: 2.367619  
Direction: Nord-Est (NE)  
ADC Value: 3878, Voltage: 3.125128  
Direction: Est (E)  
ADC Value: 3662, Voltage: 2.951062  
Direction: Sud-Est (SE)  
ADC Value: 3430, Voltage: 2.764102  
Direction: Sud (S)  
ADC Value: 2397, Voltage: 1.931648  
Direction: Sud-Ouest (SO)  
ADC Value: 1048, Voltage: 0.844542  
Direction: Ouest (O)  
ADC Value: 1353, Voltage: 1.090330  
Direction: Nord-Ouest (NO)
```

- **Tests d'Intégration :**

Les données de direction ont été affichées sur l'écran tactile pour validation visuelle en temps réel.

Les tests ont confirmé une actualisation régulière toutes les 5 secondes, avec une transition fluide entre les directions.



8. Gestion de l'IHM

Développement :

- **Affichage des données :**
 - L'écran tactile montre les données météorologiques sous forme de texte (température, humidité, pression, etc.) et de graphiques (les 20 dernières mesures). Interface dynamique permettant d'ajuster les paramètres de collecte.
- **Navigation utilisateur :**
 - **Écran principal** : Affiche les valeurs actuelles des différents capteurs ainsi que leurs variations représentées par plusieurs courbes sur un seul graphique.

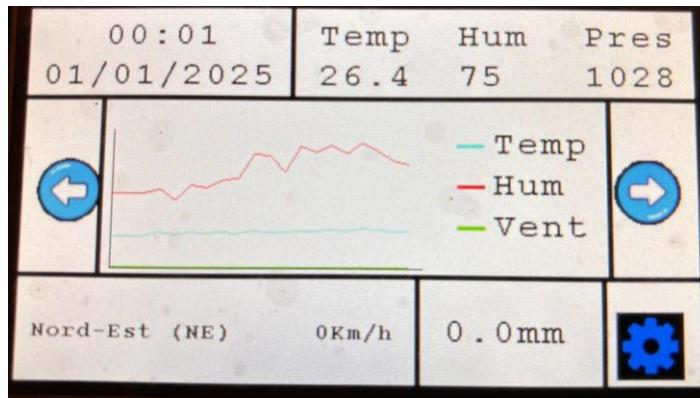


Image de l'écran principal

- **Menu de configuration** : Accessible via une icône d'engrenage en bas à droite sur l'écran principal. Il permet de régler l'heure et la date, de définir l'intervalle d'enregistrement, et de paramétriser les options du graphique.
-

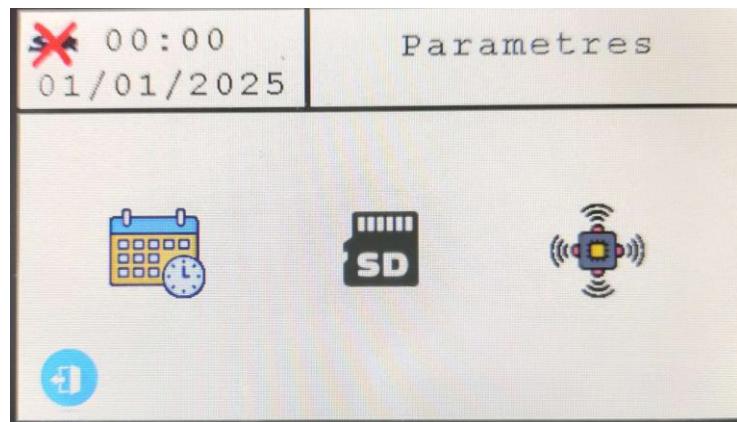


Image du menu de configuration

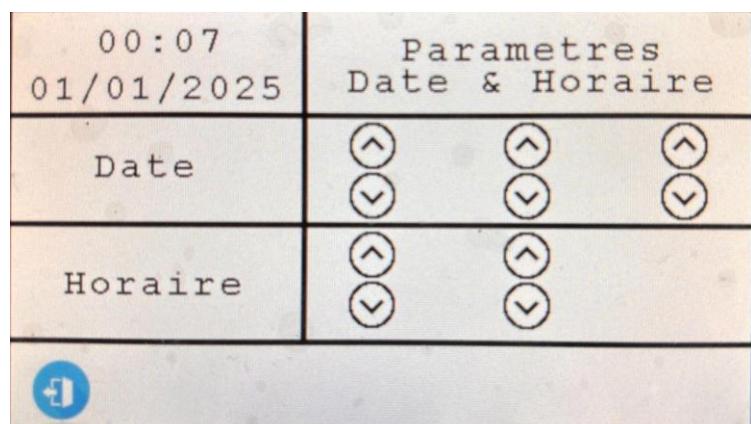


Image de l'interface pour modifier la date et l'heure

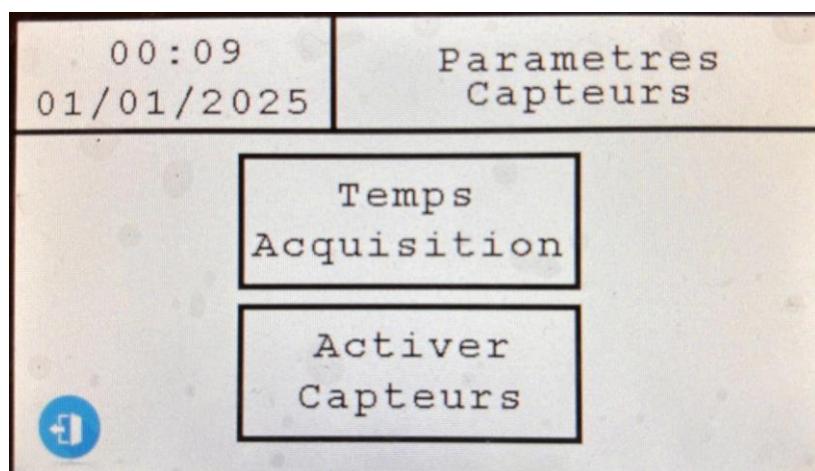


Image de l'interface paramètres capteurs

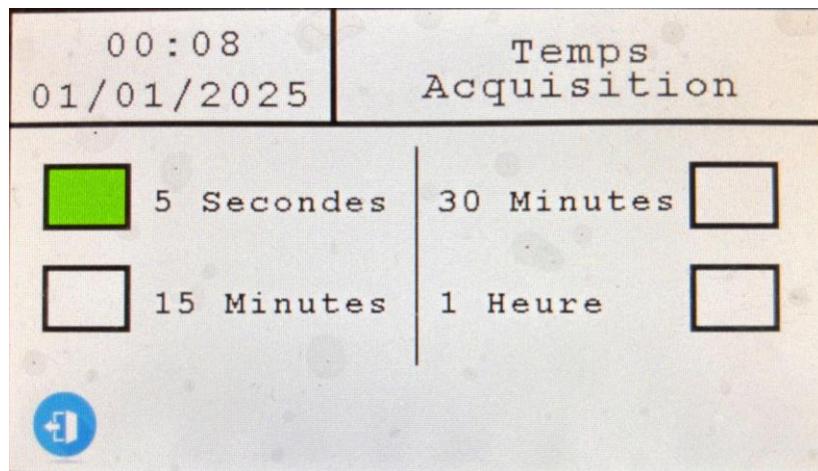


Image de l'interface permettant de modifier le temps d'acquisition des capteurs

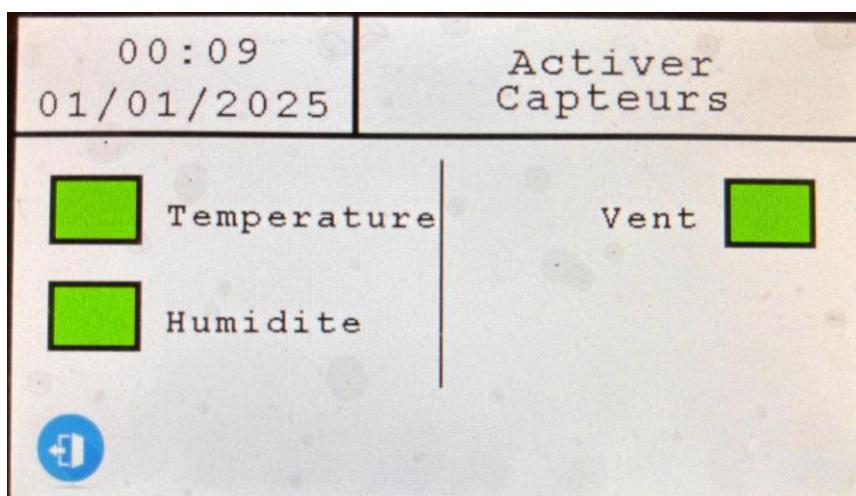


Image de l'interface permettant d'activer ou désactiver les courbes des capteurs

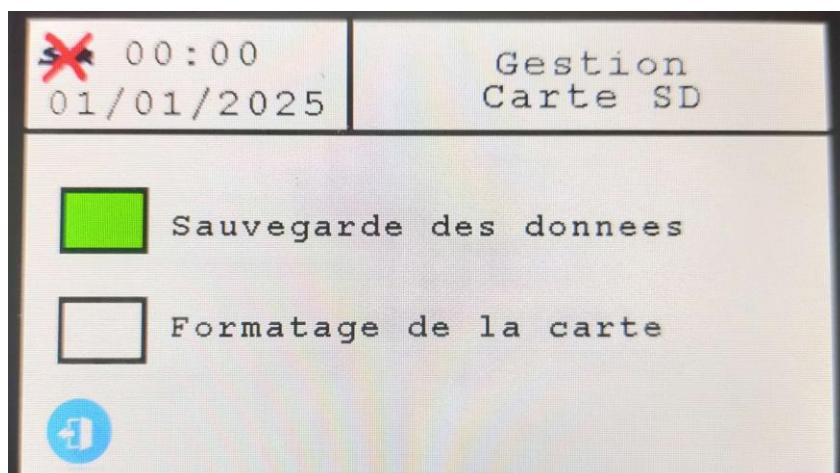


Image de l'interface permettant de gérer l'écriture de la carte SD

Menu déroulant : Accessible via les flèches directionnelles gauche et droite de l'écran principal, il permet d'afficher les valeurs actuelles de chaque capteur.

- **Historique** : Accès aux données passées sous forme de courbes.
- **Gestion des interactions** :
 - Les actions tactiles déclenchent des interruptions pour un retour instantané.
 - Utilisation de la bibliothèque graphique BSP intégrée au STM32Cube pour dessiner les graphiques.

Validation :

1. **Ergonomie** :
 - Tests utilisateurs pour assurer la simplicité de la navigation et garantir que l'interface soit intuitive pour l'utilisateur.
 - Tests pour valider l'intégration des modifications apportées par l'utilisateur via le menu de configuration.
2. **Performance** :
 - Gestion fluide des interruptions lors des interactions tactiles sans perturber les mesures.
 - Mise en forme du dimensionnement optimal de l'interaction tactile de chaque bouton, garantissant une utilisation fluide, précise et intuitive pour une expérience utilisateur optimale.

9. Développement et Validation de l'Application (Intégration Finale)

Développement :

1. Assemblage des modules :

- Intégration des routines d'acquisition de données (capteurs) avec les modules de traitement (calculs statistiques) et d'affichage.
- Synchronisation des tâches via un RTOS (Real-Time Operating System) pour garantir le respect des priorités et des délais (gestion des interruptions GPIO et tâches périodiques).

2. Gestion énergétique :

- Mise en œuvre de modes **sleep** :
 - Les capteurs analogiques et numériques entrent en veille entre les cycles d'acquisition.
 - Le microcontrôleur passe en mode basse consommation entre deux tâches non critiques.

3. Sauvegarde des données :

- Les données agrégées sont enregistrées sur une carte SD toutes les heures.
- Le fichier est organisé par date pour faciliter l'analyse (format CSV : [date, heure, température, humidité, pression, pluie, vitesse/direction du vent]).

Validation :

1. Scénarios de test :

- Simulation d'une journée météorologique avec des valeurs extrêmes pour vérifier la robustesse :
 - Variations rapides de température et d'humidité.
 - Rafales de vent (fréquences élevées d'impulsions GPIO).
 - Pluie abondante (bascules fréquentes du pluviomètre).

10. Conclusion Générale

Le projet de conception et de réalisation d'une station météorologique à base de la carte STM32F746G Discovery a permis de mettre en œuvre une solution technologique complète, répondant à des enjeux à la fois pédagogiques et environnementaux. Ce projet s'inscrit dans un contexte global où la compréhension et le suivi des phénomènes météorologiques sont essentiels face aux défis du réchauffement climatique.

Grâce à l'intégration de capteurs avancés pour la mesure de la température, de l'humidité, de la pression atmosphérique, de la vitesse et de la direction du vent, ainsi que de la pluviométrie, nous avons pu construire un dispositif fiable et polyvalent. La gestion des

données via un écran tactile et leur sauvegarde sur une carte SD offrent une interface utilisateur pratique et une traçabilité précieuse des relevés météorologiques.

Nous avons su relever ce défi grâce à une organisation efficace et une répartition claire des tâches au sein de l'équipe. Chaque membre a joué un rôle déterminant dans la réussite du projet, et toutes les étapes prévues ont été réalisées dans les délais impartis. Cette rigueur dans la gestion du temps et des ressources a permis d'assurer le bon déroulement du projet et d'atteindre les objectifs fixés.

Ce projet nous a permis d'approfondir nos compétences en systèmes embarqués, en gestion d'interruptions et de périphériques, et en programmation temps réel. De plus, il nous a sensibilisés à l'importance des solutions technologiques dans la lutte contre les défis climatiques, en mettant l'accent sur des applications concrètes et impactantes.

En conclusion, ce projet est non seulement une réussite technique mais également une démonstration de notre capacité à collaborer efficacement en équipe, en respectant les échéances, pour contribuer à une problématique majeure de notre époque.

11. Composition et Responsabilités dans l'Équipe Projet

Composition et responsabilités dans l'équipe projet

Composition de l'équipe

Nom de l'équipe : Les Innovateurs Agiles

Nom du Product Owner : Thomas Wazny (*Chef de projet*)

Liste des membres de l'équipe :

- **Thomas Wazny:** Chef de projet et Product Owner. Responsable de la coordination des tâches, développeur et rédacteur du rapport.
- **Marc Herault:** Développeur et rédacteur du rapport. Chargé de la conception et de la mise en œuvre des solutions techniques.
- **Rayane Djenadou:** Testeur, développeur et rédacteur du rapport. Responsable de la validation des fonctionnalités.

Responsabilités de l'équipe

L'équipe avait pour mission principale de concevoir, développer et livrer [nom du produit ou projet] en respectant les objectifs définis au début du projet. Les responsabilités ont été réparties de manière collaborative tout en tenant compte des expertises de chaque membre. Le tableau ci-dessous donne la répartition de chaque tâche.

Tableau des tâches affectées et effectuées

	Bloc fonctionnel	État de développement	Validation unitaire	Intégré dans l'application finale	Réalisé par
Capteurs	Capteur Carte Nucleo (Température)	Effectué	Validé	Intégré	Rayane Djenadou
	Capteur Carte Nucleo (Pression)	Effectué	Validé	Intégré	Rayane Djenadou
	Capteur Carte Nucleo (Humidité)	Effectué	Validé	Intégré	Rayane Djenadou
	Aggregation des mesures (Capteur Carte Nucleo)	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny
	Capteurs Carte Sparkfun (Pluie)	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny
	Capteurs Carte Sparkfun (Vitesse du vent)	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny
	Capteurs Carte Sparkfun (Direction du vent)	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny
	Aggregation des mesures (Capteur Carte Sparkfun)	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny
Ecran	Affichage de la température	Effectué	Validé	Intégré	Thomas

Fonctionnalités	Affichage de la pression	Effectué	Validé	Intégré	Wazny
	Affichage de l'humidité	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny
	Affichage de la quantité de pluie	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny
	Affichage de la vitesse du vent	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny
	Affichage de la direction du vent	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny
	Gestion IHM (TouchScreen)	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny, Rayane Djenadou
	Menu paramétrage du temps d'acquisition entre chaque mesure	Effectué	Validé	Intégré	Rayane Djenadou
	Menu déroulant	Effectué	Validé	Intégré	Rayane Djenadou
	Affichage des courbes	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny
	Affichage des différentes images	Effectué	Validé	Intégré	Rayane Djenadou
Timer & RTC	Timer(32bits) pour 24h (Utilisation du Timer2)	Effectué	Validé	Intégré	Rayane Djenadou
	RTC	Effectué	Validé	Intégré	Rayane Djenadou

	Agrégation des mesures associées à la date et à l'heure	Effectué	Validé	Intégré	Marc Hérault
Sauvegarde	Carte SD	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny
	Sauvegarder les mesures en fonction de la date et de l'heure associées	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny, Marc Herault
	Prise de mesure	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny
LED	Sauvegarde	Effectué	Validé	Intégré	Thomas Wazny
	Erreur	Non effectué	Non validé	En cours...	
	Ajouter les boutons pour réveiller la carte et faire defiler le menu	Non effectué	Non validé	En cours...	Marc Hérault

12. Annexes

Réponses aux questions du sujet du projet :

Matériel : Shield ST X-NUCLEO-IKS01A3

Caractéristiques des capteurs

- **HTS221 :**
 - Humidité : 0%-100% HR, précision $\pm 3.5\%$.
 - Température : -40°C à +120°C, précision $\pm 0.5^\circ\text{C}$.
 - Résolution numérique : 8 à 16 bits.
- **LPS22HH :**
 - Pression : 260-1260 hPa, précision $\pm 0.1 \text{ hPa}$.
 - Température intégrée.
 - Résolution numérique : 24 bits.

Récupération des données

- Communication via bus I²C partagé.
- Fréquence configurable entre 100 kHz et 400 kHz.
- Adresses I²C distinctes pour chaque capteur.

Capteurs de vitesse et direction du vent

Fonctionnement en détail :

Vitesse du vent :

- Capteur utilisé : SparkFun Weather Meters, avec un anémomètre.
- Signal :
 - Utilise un interrupteur Reed (reed switch), qui ferme le circuit à chaque rotation des coupelles.
 - Chaque impulsion correspond à une certaine distance parcourue par le vent, déterminée par la géométrie de l'anémomètre.
 - La fréquence des impulsions est directement proportionnelle à la vitesse du vent.

Direction du vent :

- Capteur utilisé : Girouette avec potentiomètre.
- Signal :
 - La girouette agit sur un potentiomètre, modifiant une tension analogique.
 - Cette tension est proportionnelle à l'angle de la direction du vent.
 - Un convertisseur ADC (Analog-to-Digital Converter) mesure cette tension.

Capteur de pluie

Fonctionnement détaillé :

Principe du "Tipping Bucket" :

- Chaque basculement correspond à une quantité fixe d'eau.
- Une impulsion est générée à chaque basculement via un interrupteur Reed.

Signal :

- Signal impulsionnel similaire à celui de l'anémomètre.
- Les impulsions sont comptées pour calculer la quantité d'eau tombée.